

宜蘭高中 98 學年度學生數理自然科學專題研究

題目：

奇妙的聲音

指導老師：

陳萬城

學生：

林瑋柔

陳 襄

陳奕儒

周鈺哲

擺適可樂——舞台上的樂器擺放

指導老師：陳萬城老師

研究學生：林瑋柔、陳襄、陳奕儒、周鈺哲

摘要

本實驗的目的是以物理觀點解釋「舞台上樂器擺放」的原因，以交響樂團為例，我們認為「不同頻率聲波的發散程度不同」造成不同角度樂音的差別。所以分別播放 100Hz、500Hz，100dB 的 sin 波，測量並繪成等分貝線，由此確認「低頻音較高頻易發散」。

接著我們在舞台上播放 9 種樂器、9 個角度並錄音建立資料庫，疊合成交響樂團標準配置，改變其中一種樂器的位置，進行同樣頻率的波形、頻譜比較。但很難看出差異，因此自行定義聲強「衰減率」重新繪製圖表，由此解釋樂器擺放原因。

最後我們推測造成衰減率不同的原因與音源音量有關，即不同樂器各泛音成分起始的振幅大小。因此，儘管演奏相同頻率，不同音色的各樂器將有其特定的擺放位置。

壹、研究動機：

曾經參加過管樂隊，對於樂器擺法那麼的制式化一直不解。從歷屆科展作品中得知不同的聲音頻率在空氣中的發散程度是不一樣的，但是樂器演奏時，演奏的是相同頻率的音，於是著手研究樂器擺放背後所含的物理意義為何。

貳、研究目的：

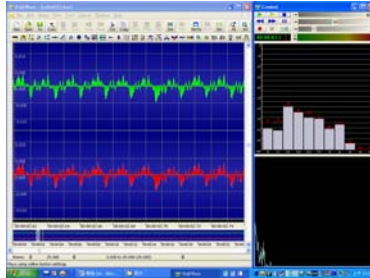
- 一、探討不同頻率的聲波在空氣中的發散程度
- 二、探討各個樂器在舞台上不同角度放出的聲音對於在台下的觀測者造成的差別
- 三、找出舞台上樂器之擺放方法中的物理意義

參、實驗器材：

- 一、組合式音響、電容式麥克風、筆記型電腦兩台、GLX、聲音感應器、標籤紙、量角器、皮尺、麥克風架、棉線【圖 1-1】
- 二、軟體：GoldWave【圖 1-2】、Audacity（音訊處理軟體）、Overture【圖 1-3】（寫譜軟體）、Excel、EasyCapture（螢幕圖片擷取軟體）



↑ 圖 1-1



↑ 圖 1-2



↑ 圖 1-3

肆、實驗步驟：

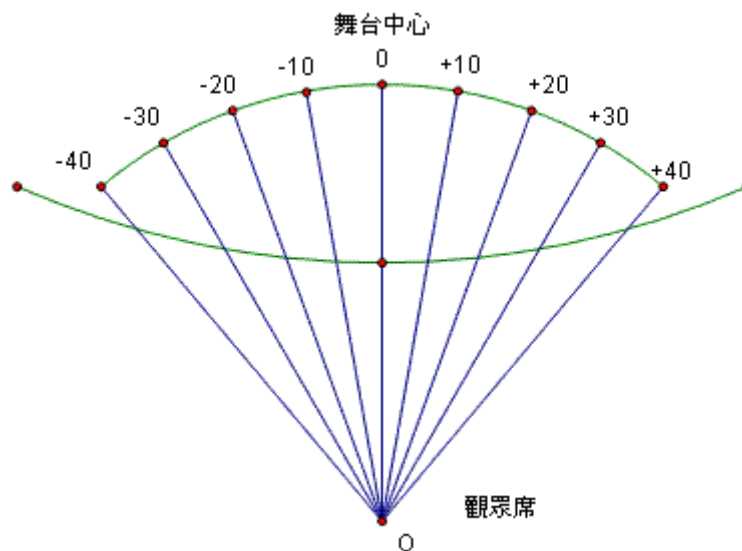
實驗一：頻率與發散程度的關係

- (一) 在空曠的操場上(背景噪音 48dB~53dB)用電腦連接音響以 Audacity 分別連續播放 100hz、500hz，音源 100dB 的 sin 波。
- (二) 以 GLX 連接聲音感應器測量分貝並且在相同分貝處插上竹筷子。
- (三) 以皮尺測量各竹筷子與音源的距離，並以量角器測量相對音源的角度。
- (四) 整理資料並以 Excel 繪成等分貝線圖。

實驗二：單一樂器衰減程度和角度的關係

(一) 建立各種樂器不同角度的聲音資料庫

1. 訂觀眾席第一排正中央為圓心並架設電容式麥克風。
2. 定義圓心與舞台中央連線為 0 度線，並以此線段為半徑畫弧，觀眾席面向舞台向右為正，向左為負。
3. 在弧上正負 40 度間以 10 度為間隔取 9 個點【圖 1-4】

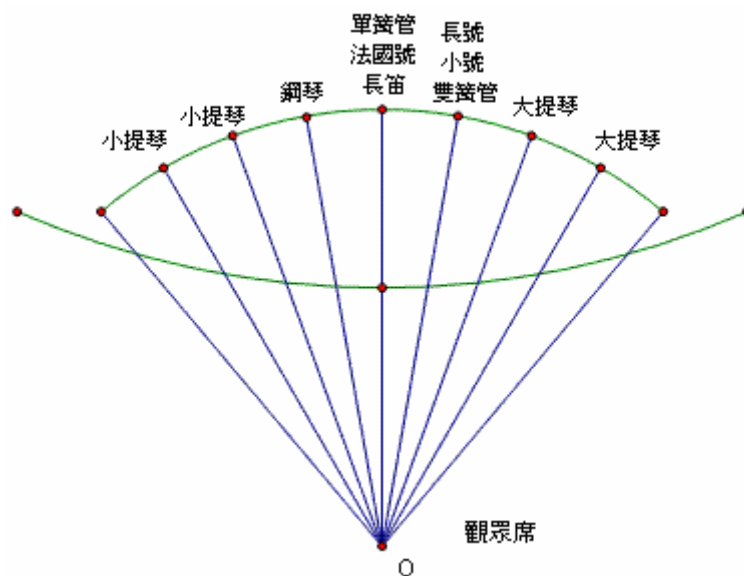


↑ 圖 1-4

4. 在此 9 點用電腦連接音響以 Overture 播放各種樂器一個八度的音階。
 5. 以電腦連接電容式麥克風收音。
- (二) 將樂器大致上分為兩類：
1. 高音樂器：演奏較高音(音色較明亮)，在譜上標記高音譜記號的樂器。如：單簧管、小提琴、小號、鋼琴、長笛、法國號。
 2. 低音樂器：演奏較低音(音色較渾厚)的樂器，在譜上標記的是低音譜記號的樂器。例如：大提琴、長號、雙簧管。
- (三) 以 GoldWave 對高音樂器(以小號為例)和低音樂器(以大提琴為例)的中音 Do 以分貝為 Y 軸，頻率為 X 軸做頻譜分析，並將數據紀錄至 Excel。
- (四) 定義：衰減率 = $\frac{\text{各角度時的聲強} - \text{0度時的聲強}}{\text{各角度時的聲強}}$
- (五) 分別計算 10 度、20 度、30 度、40 度兩種樂器的衰減率並繪成圖表。

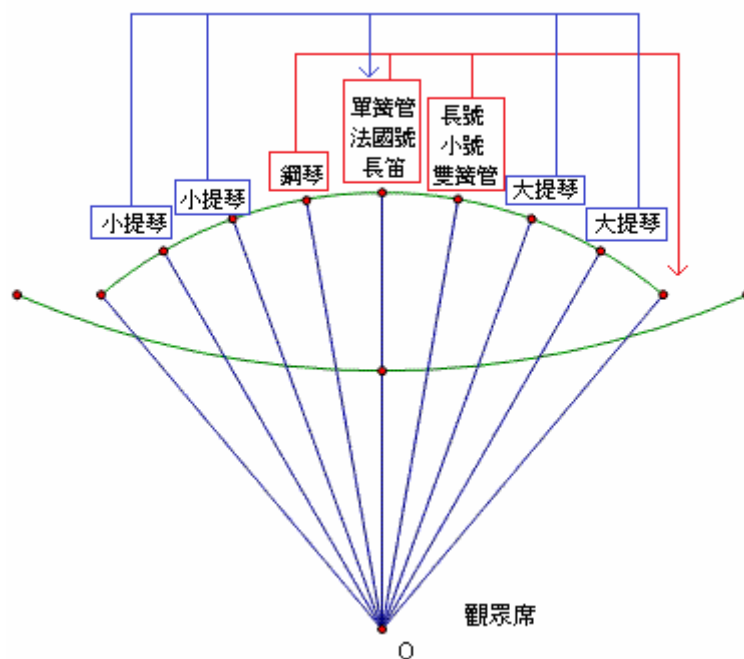
實驗三：交響樂團樂器位置和聲音的關係

(一) 利用實驗二錄製的資料庫，以 GoldWave 疊合模擬成交響樂團的實際演奏情形【圖 1-5】。



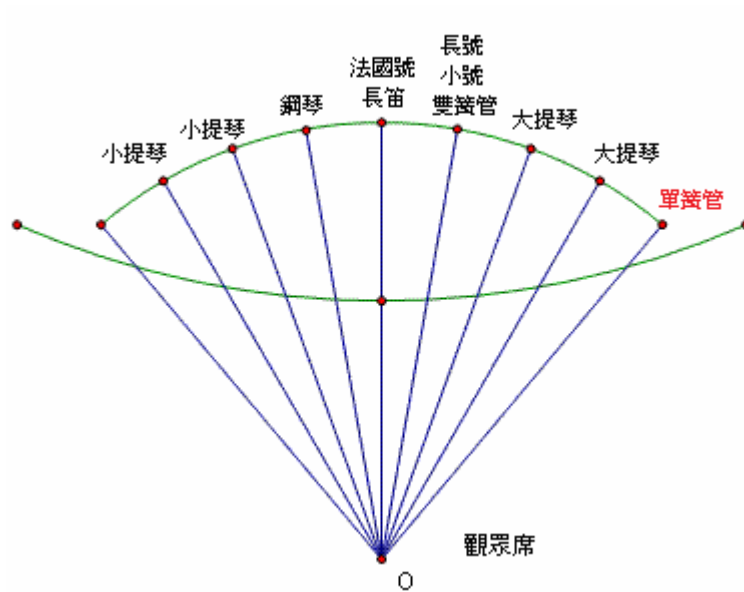
↑ 圖 1-5

(二) 分別改變各個樂器在交響樂團中的角度(0~20 度改爲 40 度，30、40 度改爲 0 度) 並且重新疊合【圖 1-6、1-7、1-8】。

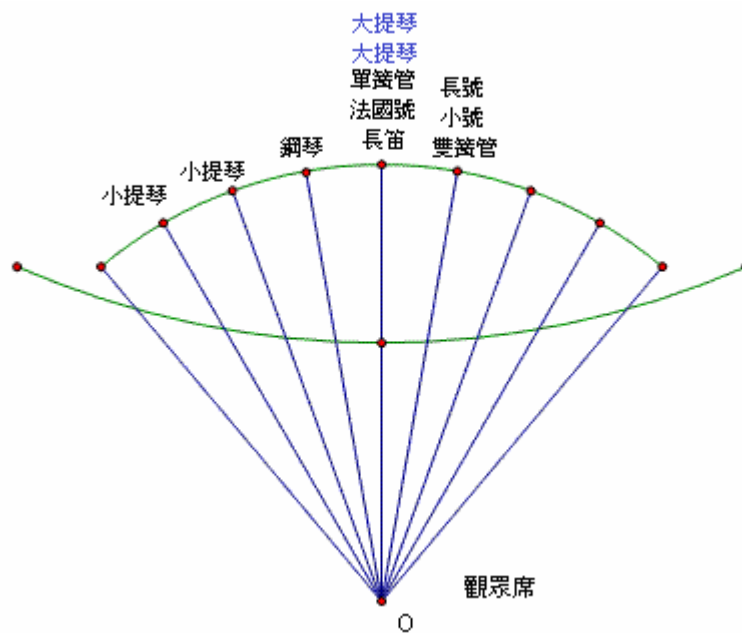


↑ 圖 1-6

↓ (以下二圖爲改變位置後樂團的例子)



↑ 圖 1-7



↑ 圖 1-8

(三) 定義：衰減率 = $\frac{\text{改變後樂團的聲強} - \text{交響樂團的聲強}}{\text{改變後樂團的聲強}}$

(四) 比較 (一) (二) 衰減率。

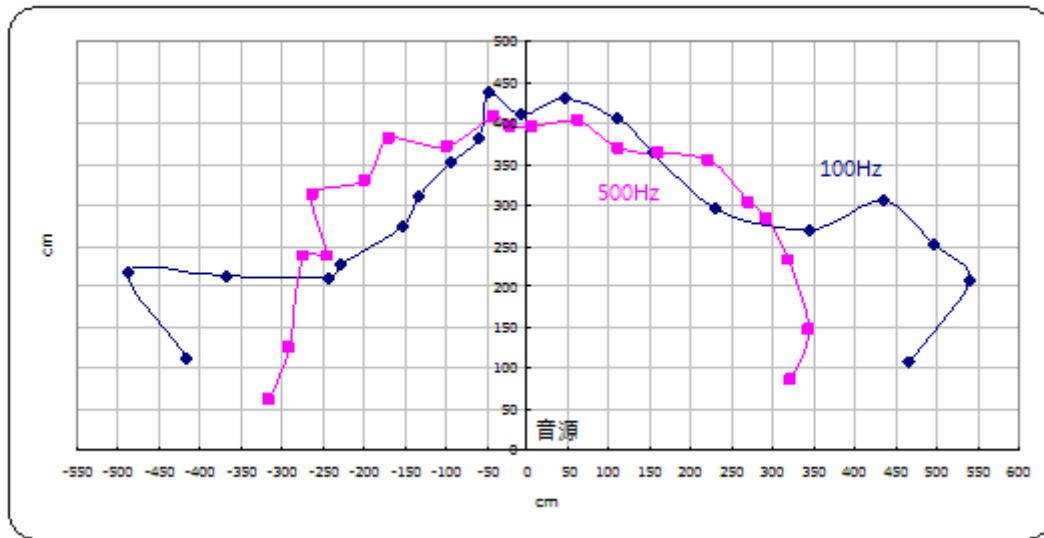
(五) 分別改變高音樂器和低音樂器在交響樂團中的角度並且重新疊合。

(六) 比較 (一) (四) 頻譜圖的特性差異，討論這些特性和聲音的關係。

(七) 由 (三) (五) 解釋交響樂團擺放方法背後的物理意義。

伍、實驗結果：

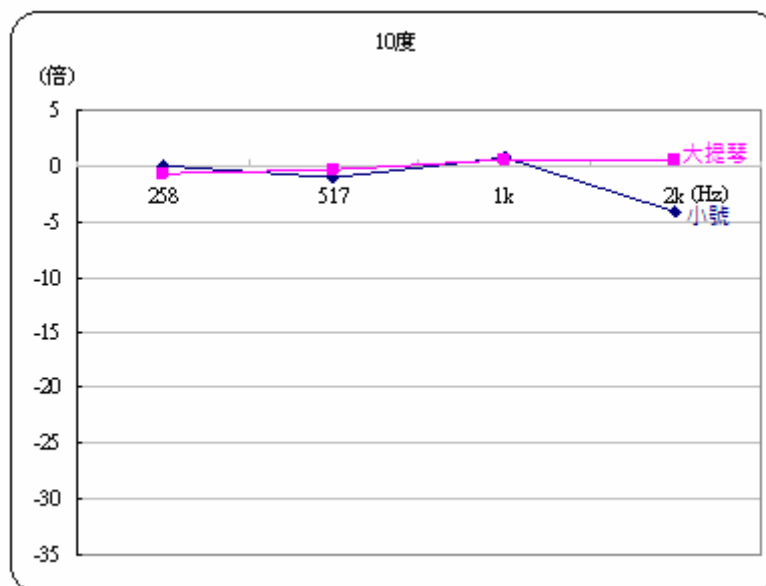
實驗一：



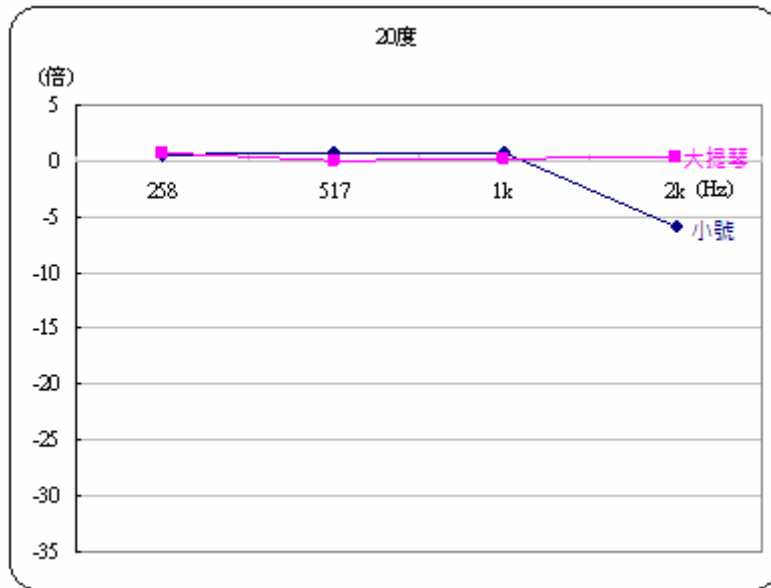
由以上二圖的趨勢，大略可知低頻的音較高頻容易發散。

實驗二：中音 Do 時將樂器從 0 度改變至各角度的衰減率

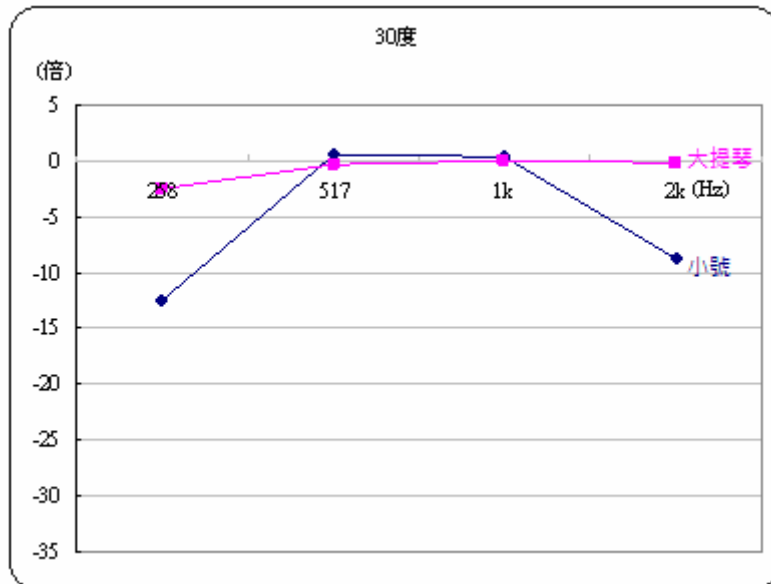
(一) 10 度



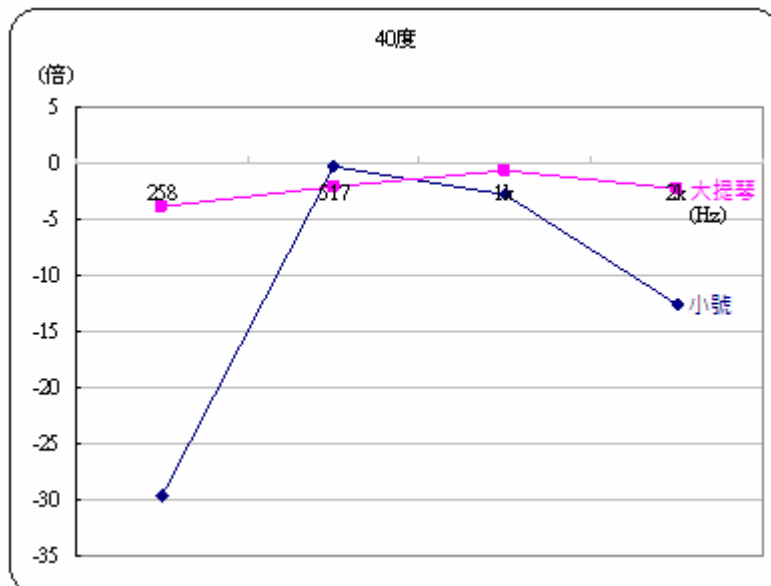
(二) 20度



(三) 30度

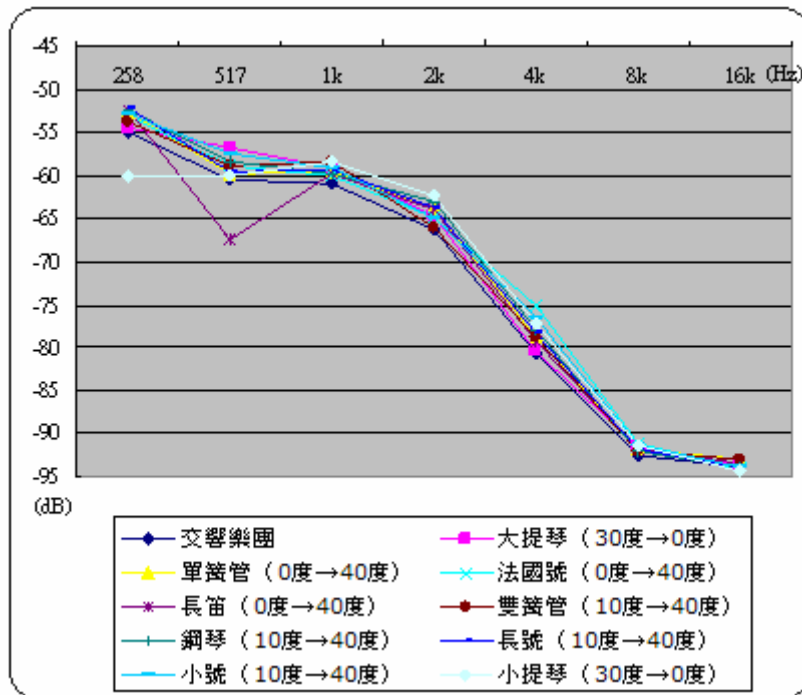


(四) 40度

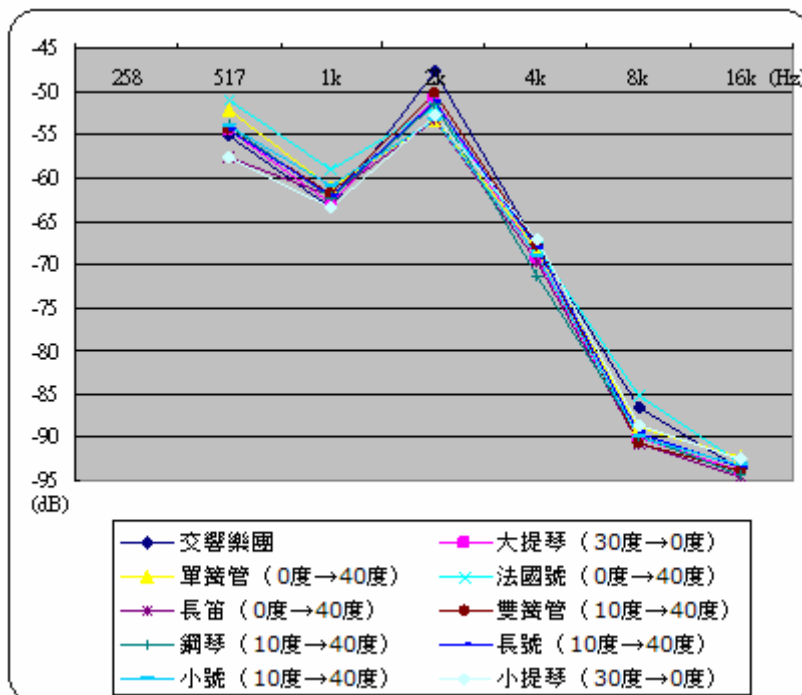


實驗三：

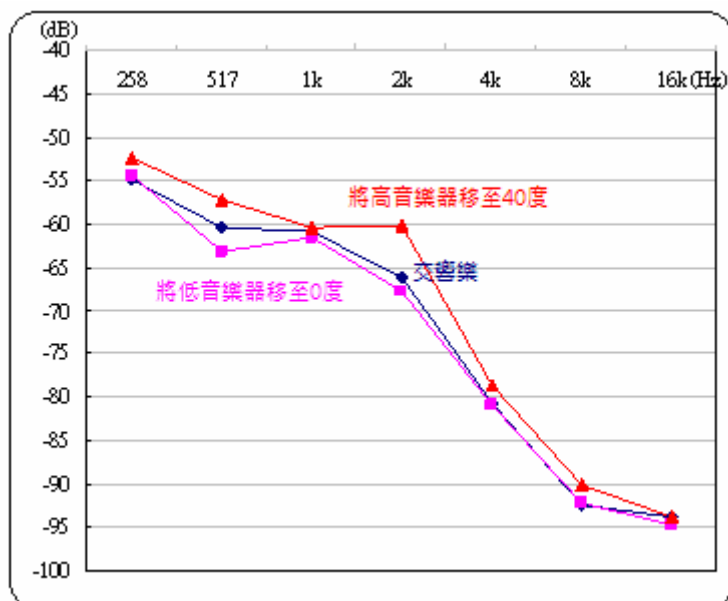
(一) 中音 Do 時改變各個樂器位置的頻譜圖



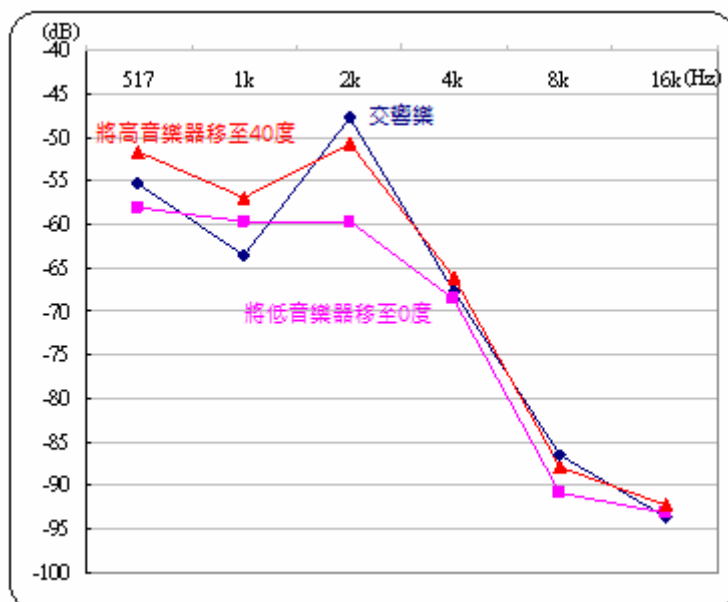
(二) 高音 Do 時改變各個樂器位置的頻譜圖



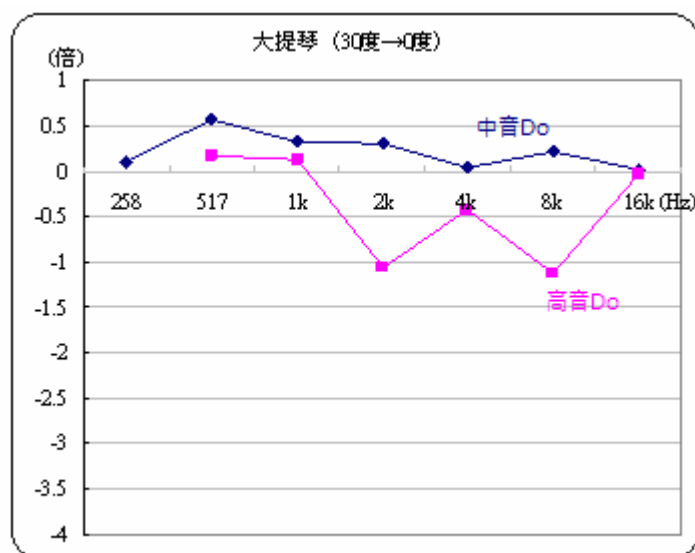
(三) 中音 Do 時改變多個樂器角度的頻譜圖

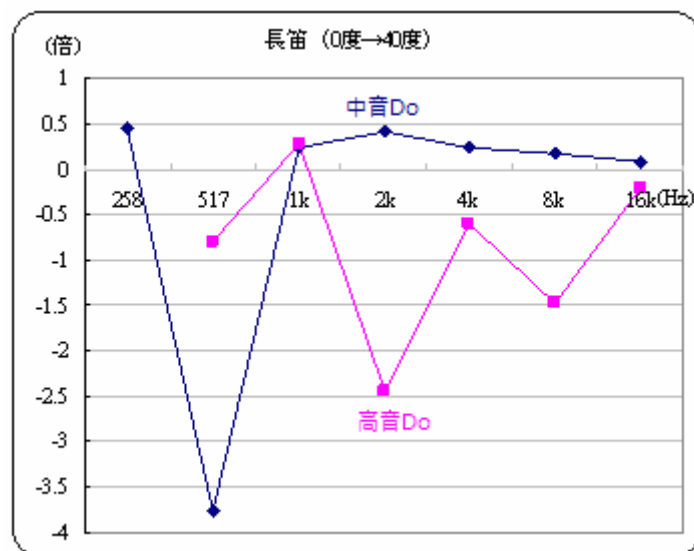
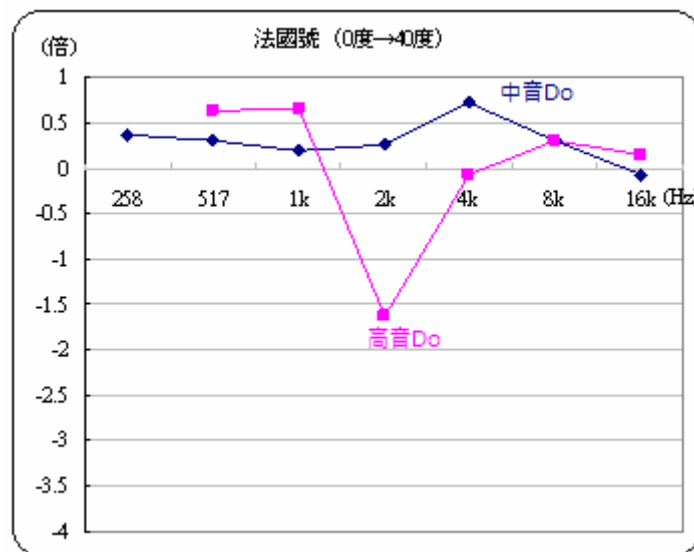
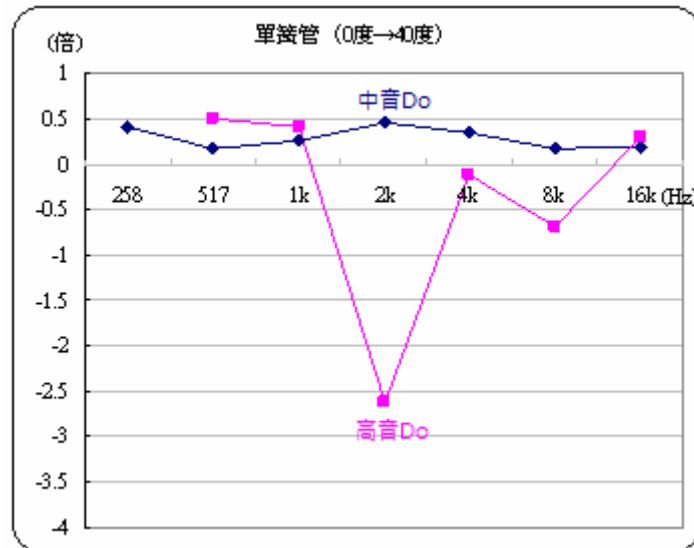


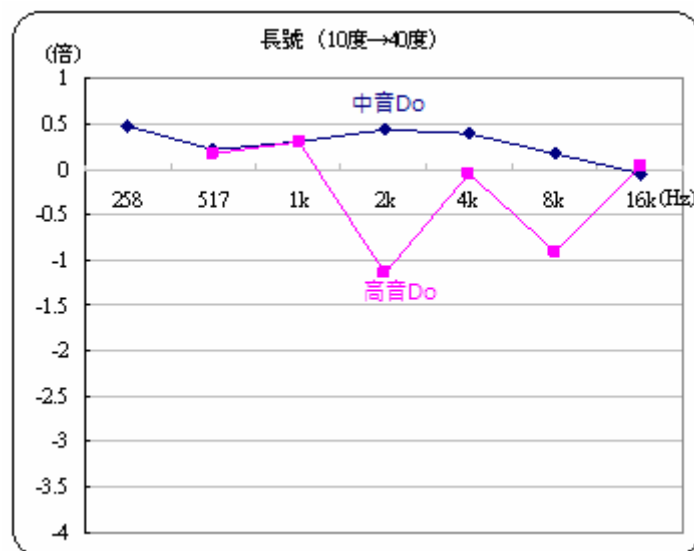
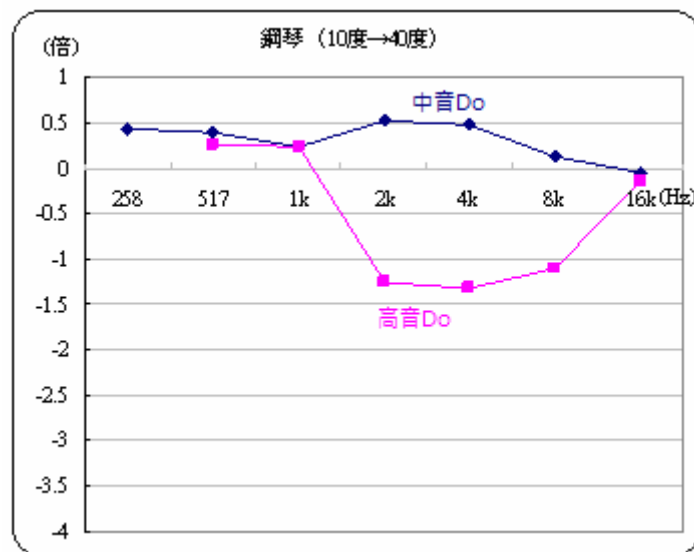
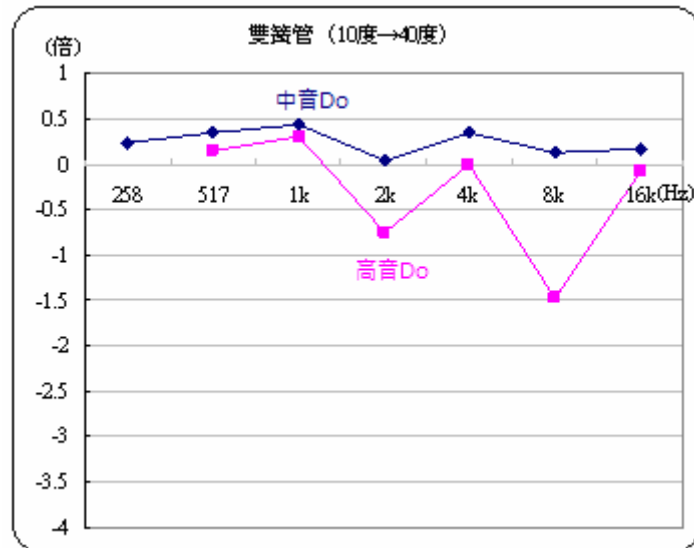
(四) 高音 Do 時改變多個樂器角度頻譜圖

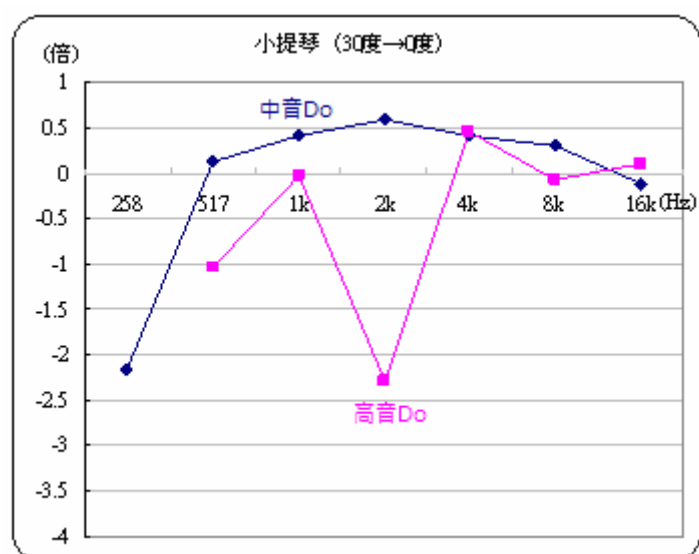
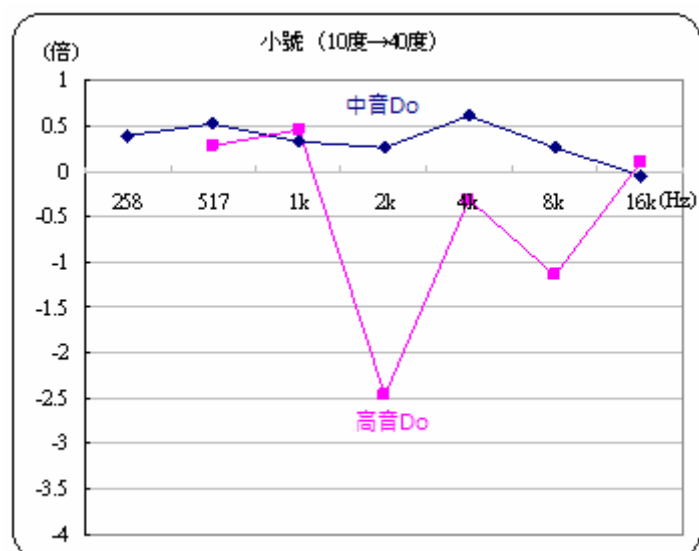


(五) 改變單一樂器角度的衰減率圖 (其他樂器按標準擺法)



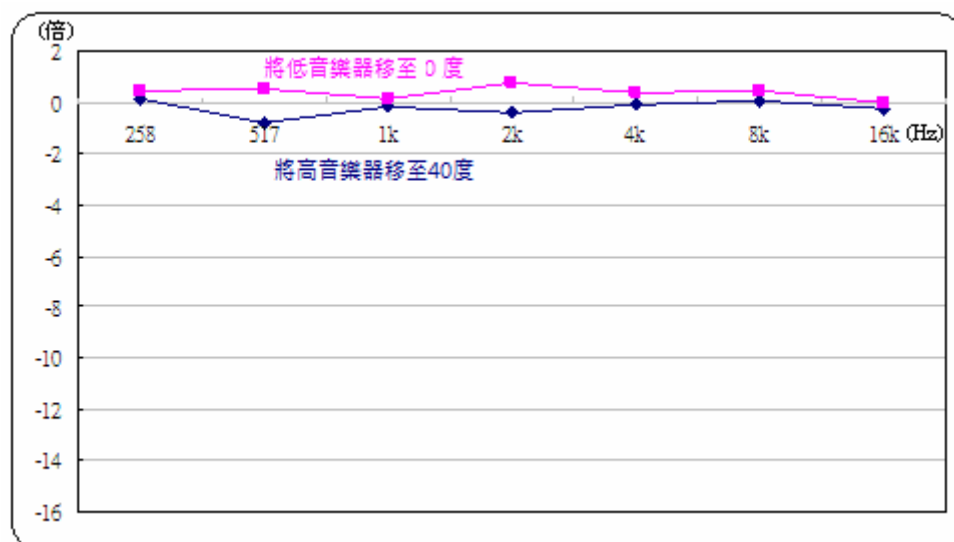




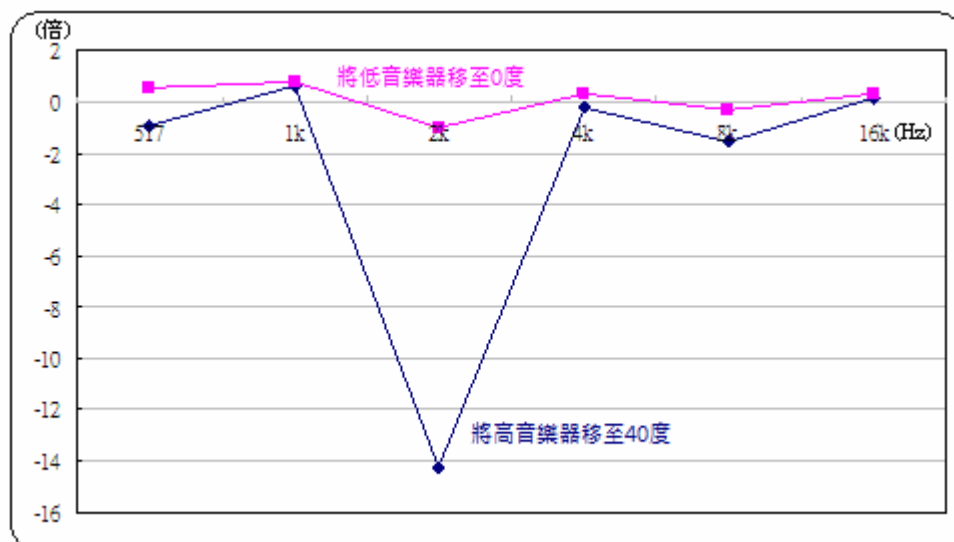


(六) 改變部分樂器的衰減率圖

1. 中音 Do 時



2. 高音 DO 時



陸、討論：

一、實驗二：

(一) 我們可將以上四圖分為基音和泛音討論：

1. 基音：在 10 度、20 度時尚無明顯衰減，但從 30 度開始急劇衰減。
2. 泛音：大致上來說，改變角度越大衰減情形越明顯。

(二) 或者分兩類樂器討論：

1. 小號：衰減的程度較明顯
2. 大提琴：衰減的程度較不明顯

(三) 我們認為同角度、同音高頻譜圖中同頻率諧音的衰減率應該相同（即同角度頻譜圖的兩折線應該約略重合），但由以上結論可知，衰減率並不相同。因此，我們推測可能是因為「衰減率會因振幅不同而有所影響」。

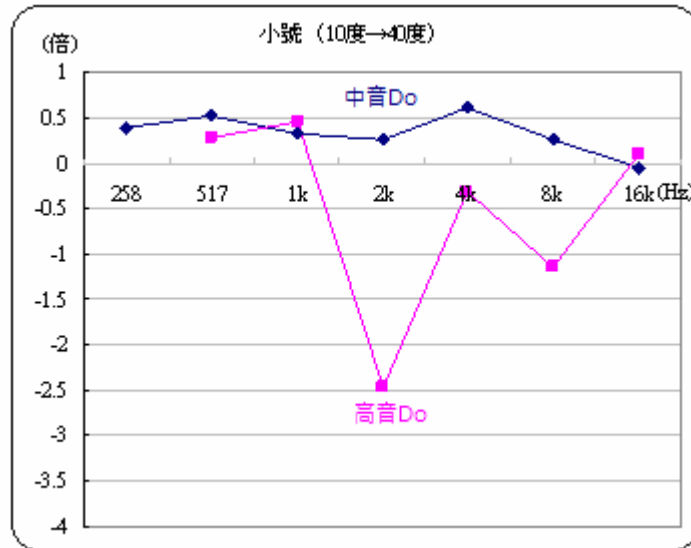
二、實驗三：

(一) 改變單一樂器的衰減率分析

1. 分別就樂器而言，我們觀察高音 Do 的折線：

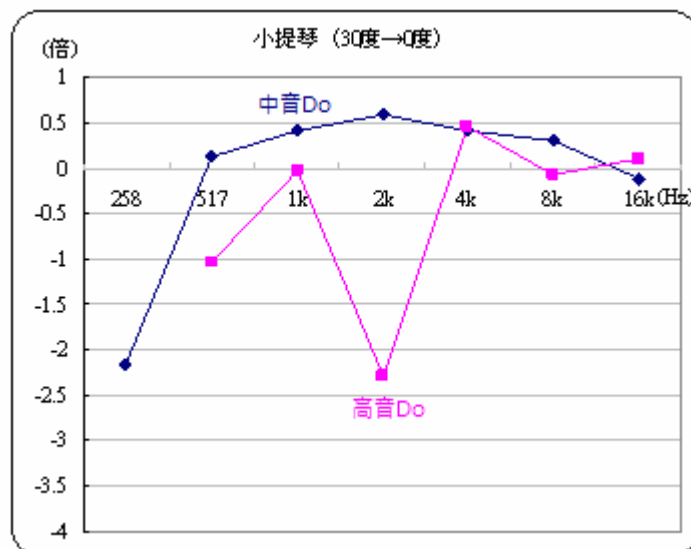
(1) 2k 和 8k 泛音的衰減率相較之下較大，我們推測改變樂器時聽起來的差異應該主要是由於以上兩者。

I 以小號為例：2k 的泛音衰減了許多，改變角度對這個樂器的影響較大，所以，小號在 40 度時，較不容易分辨其音色【圖 2-1】。



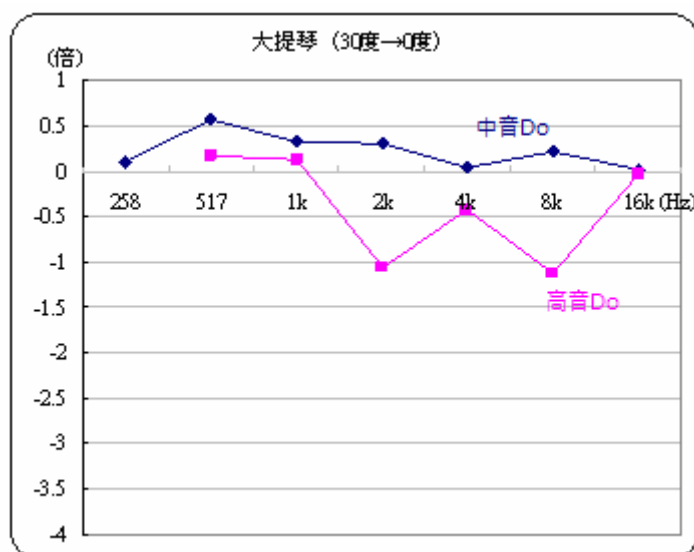
↑ 圖 2-1

II 但以小提琴為例：改變小提琴的角度，其 2k 泛音衰減的幅度很大，但是小提琴在改變角度以後，基頻的衰減也相當明顯。所以改變小提琴的角度，不只音色不易分辨，它在樂團裡的音量也降低【圖 2-2】。

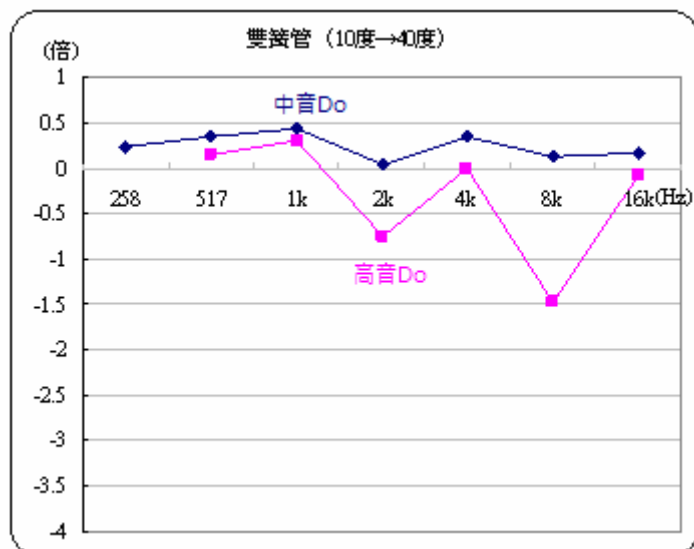


↑ 圖 2-2

(2) 我們發現，改變的樂器為低音樂器（如大提琴與雙簧管）時，其衰減率折線較平滑，可見其衰減較不明顯，且各低音樂器間的趨勢較為相近【圖 2-3、2-4】。

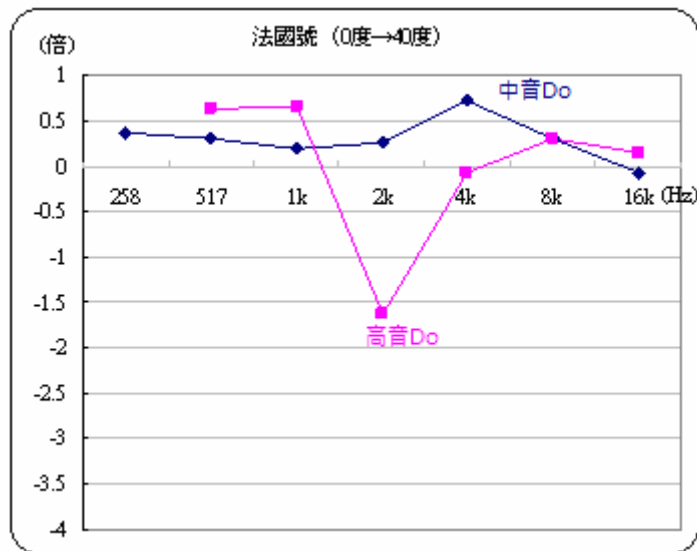


↑ 圖 2-3

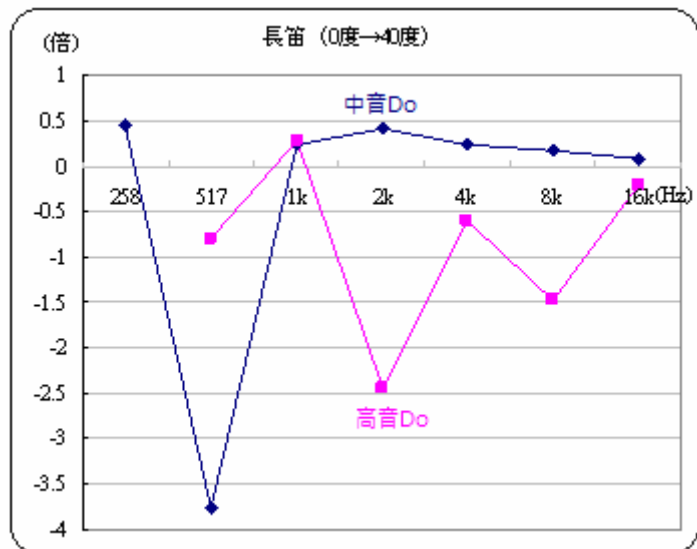


↑ 圖 2-4

(3) 而當改變高音樂器（如法國號與長笛）時，其衰減率折線變化較劇烈，各高音樂器間也有較明顯的不同【圖 2-5、2-6】。



↑ 圖 2-5

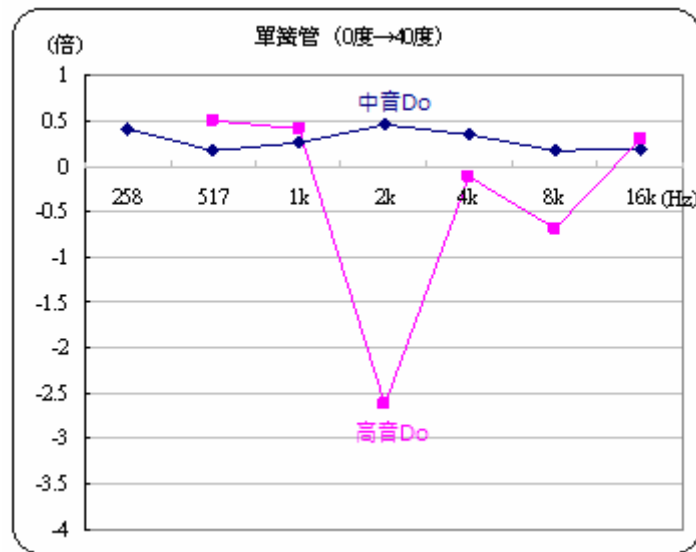


↑ 圖 2-6

2. 就音高而言：

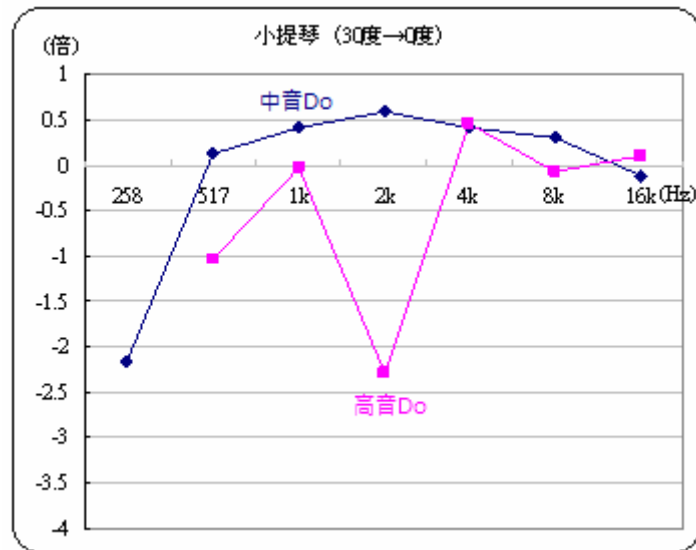
(1) 大部分樂器中音 Do 各個泛音的衰減率皆不明顯，因此，當演奏較低音時，樂器位置改變的對整個樂團而言沒有太大的影響。

I 以單簧管為例，高音 Do 的衰減程度遠大於中音 Do 【圖 2-7】。



↑ 圖 2-7

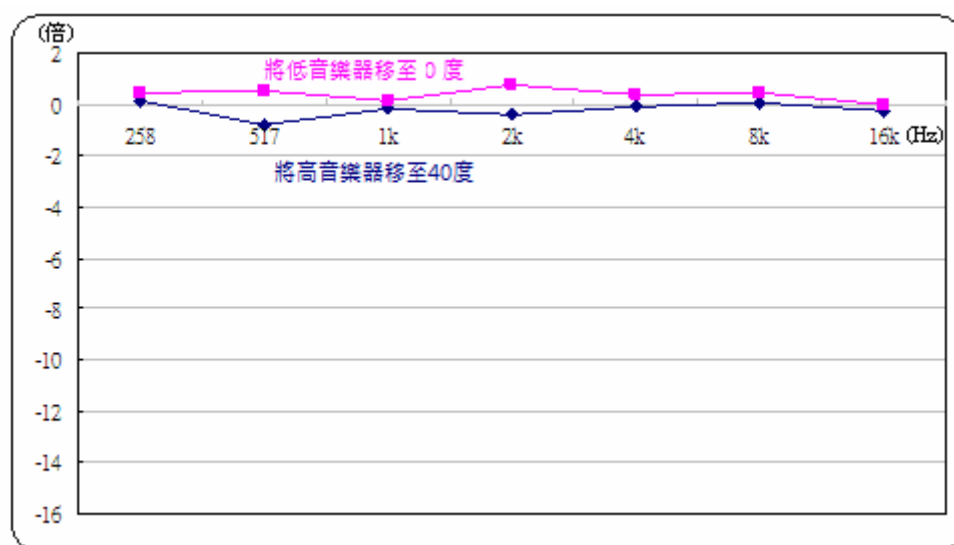
II 但是就小提琴而言，改變中音 Do 時其基音衰減得較泛音小，因此我們仍然感受得到其音色，但會感覺整體音量變小【圖 2-8】。



↑ 圖 2-8

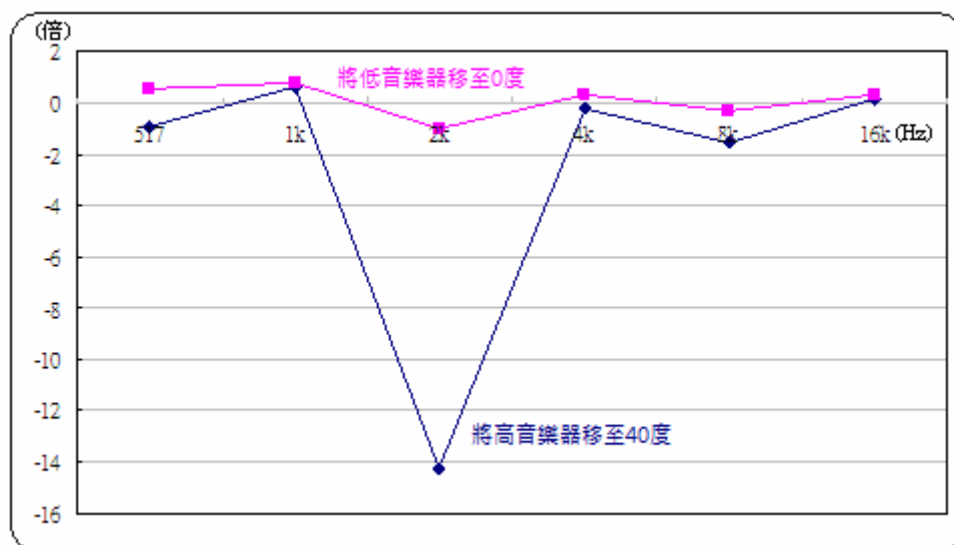
(二) 改變部分樂器的衰減率分析

1. 中音 Do 時改變樂團的擺設對於整體效果、衰減率並無太大影響，因此我們推論中音 Do 時改變樂團的整體擺設對音色無太大影響【圖 2-9】。



↑ 圖 2-9

2. 而高音 Do 時改變樂團高音樂器和整體的擺設，2k 的泛音明顯衰減，則造成音色較難以辨認，而整體音量大致上也有降低。但改變低音樂器時則無明顯衰減【圖 2-10】。



↑ 圖 2-10

三、可由低頻較易發散的結果加上音源振幅的影響解釋實驗二時單一樂器 2k 衰減最多的結果，由實驗二的結果解釋實驗三改變單一樂器時的衰減情形，再由單一樂器衰減情形可分別解釋改變全數高音、低音樂器時的衰減情形，三實驗皆相互呼應。

柒、結論：

- 一、由實驗一的結果大致可以得到低頻音傳播的發散程度較高頻音的大。
- 二、由實驗二的結果得知在改變角度在 20 度之內時，音色不易分辨；而當改變角度大於 20 度時，除了音色不易分辨之外連整體音量都降低了。
- 三、音高較高時，交響樂團的音質較易分辨；在交響樂團中改變高音樂器角度比改變低音樂器角度對樂團的影響明顯，且容易造成音質不易分辨。
- 四、根據改變單一樂器角度的衰減率圖可知：
 - (一) 大提琴：不論高低音時各個頻率衰減率相差不大，所以放在各個角度並無太大差異，可依據場地和舞台的限制做調整。
 - (二) 單簧管：其高音時 2k 泛音的衰減率較大，所以必須擺在中間的位置。
 - (三) 法國號：其高音時 2k 泛音的衰減率有出來但是不是非常大所以可以擺在較為旁邊的位置但是不可擺在最邊緣。
 - (四) 長笛：不論高低音時各個泛音甚至基頻的衰減率都相當明顯所以必須放在中間的位置。
 - (五) 雙簧管：其高音時泛音的雖然有衰減，但不太明顯，所以擺設的位置影響不大。
 - (六) 鋼琴：高音時衰減率雖然不算非常明顯但是各個頻率都有衰減，所以不可擺在太旁邊的位置。
 - (七) 長號：不論高低音時各個頻率的衰減率都不大，所以擺設的位置影響不大。
 - (八) 小號：高音時 2k 泛音的衰減率相當明顯，所以必須擺在較為中間的位置。
 - (九) 小提琴：低音時基頻衰減率頗明顯而高音時其 2k 衰減率也相當明顯所以必須擺在較為旁邊的位置。

捌、未來展望：

- 一、以 Audacity 產生單頻的 sin 波，固定音源分貝數，改變頻率的大小以及固定頻率，改變音源分貝數，分別在舞台上九個點播放，在觀眾席第一排中點（0 點）以分貝計測量並畫出各角度的衰減率圖。
- 二、由實驗三我們推論出聲音的衰減率、頻率、響度、角度有相當的關聯性。希望由未來展望一的實驗能夠發展出聲音的衰減率、頻率、響度、角度之關聯性的公式。
- 三、將現有的數據推廣至九個舞台上的點，試著找出其間的差異性以找出樂器的擺放與頻譜圖間關聯的完備性。
- 四、未來可將實驗推廣至其他類型的樂團，如管樂團、弦樂團、搖滾樂團、國樂團……。
- 五、將所得的資料建立成資料庫，參考一般舞台的基本結構，寫出能夠讓使用者自由選擇樂器位置的程式，並能夠比較各種擺法之差異，使指揮或是作曲家能夠將樂曲演奏的聽覺效果發揮至最佳。

玖、參考資料：

- 一、侯志欽（民 96）。聲學原理與多媒體音訊科技。台北市：台灣商務。
- 二、蔡國龍、王光賢、涂聰賢（民 97）。聲學原理與噪音量測控制。台北市：全華。